Energy, Mines and Resources Canada

Énergie, Mines et Ressources Canada

CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Mining Research Laboratories

Laboratoires de recherche minière

Canada

ÉTUDE DE STABILITÉ À LA MINE NIOBEC: RAPPORT FINAL
1. Sommaire de l'étude

D. Labrie, M.C. Bétournay

MRL 89-80 (TR)

AOÛT 1989

This document is an unedited interim report prepared primarily for discussion and internal reporting purposes. It does not represent a final expression of the opinion of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET)

Ce document est un rapport provisoire non-révisé et rédigé principalement pour fin de discussion et de documentation interne. Il ne représente nulle-ment l'expression définitive de l'opinion du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)

22 pp

MICROMEDIA

MICROMEDIA

89-06216/

ÉTUDE DE STABILITÉ À LA MINE NIOBEC:
RAPPORT FINAL
1. Sommaire de l'étude

par

D. Labrie* et M.C. Bétournay*

RÉSUMÉ

Le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) et le Centre de recherches minérales (CRM) initiaient à l'automne 1985, en coopération avec l'exploitant, une étude de stabilité sur le site de la mine Niobec. Le projet visait principalement à faire le point sur la stabilité des excavations existantes, et procéder à l'évaluation de la séquence de minage proposée pour le retrait éventuel des piliers transversaux et horizontal. L'élaboration de lignes directrices, pour l'exploitation éventuelle d'un troisième bloc minier, faisait également partie du plan de travail.

Une somme de travail appréciable a été accomplie au cours des quatre dernières années. L'information acquise, via l'investigation effectuée sur le site et les essais réalisés en chantier et en laboratoire, a été interprétée et utilisée lors de la phase de modélisation. Des mesures ont été effectuées à la paroi des excavations et à l'intérieur des piliers, pour calibrer et valider le modèle numérique. Nour présentons ici un sommaire de ces travaux, l'emphase étant mise sur l'identification des résultats pratiques et significatifs. Les résultats détaillés ont été publiés séparément. Leur synthèse constitue la deuxième partie du rapport final.

MOTS-CLÉS:

Étude de stabilité, chantiers ouverts, piliers, investigation, essai in-situ, essai en laboratoire, modélisation numérique, suivi de excavations, séquence de minage.

* Chercheur en sciences physiques, Laboratoire canadien de technologie minière, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa.

NIOBEC MINE STABILITY ANALYSIS PROJECT:
FINAL REPORT
1. Executive Summary

by

D. Labrie* and M.C. Bétournay*

ABSTRACT

The Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) and the Centre de recherches minérales (CRM), with the collaboration of the Niobec Mine, initiated a mine stability analysis project in the fall of 1985. The project's main objective was to evaluate stability of existing mine openings, and examine the impact on mine stability of the recovery of some primary and sill pillars. Guidelines developed for excavation of a third mining block were also investigated.

The project represents considerable effort by all participants over the last four years. The information gathered through site investigation, field testing and laboratory testing was used as basic data for numerical modelling following detailed assessments. As well, pillar response to mining was monitored in order to validate the model. The reader will find in the present package a summary of the work achieved, with emphasis on the practical application of principal results. Detailed results were published in separate reports. The synthesis of these reports constitutes the second part of the report.

KEYWORDS:

Stability analysis, open stopes, pillars, investigation, in-situ test, laboratory test, numerical modelling, mine openings monitoring, mining sequence.

* Physical Scientist, Canadian Mine Technology Laboratory, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa.

AVANT-PROPOS

Les Laboratoires de recherche minière du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) mènent depuis plusieurs années, avec la collaboration des exploitants miniers, des projets de recherche en mécanique des roches. Les objectifs de ces projets sont de:

1) fournir à l'exploitant des résultats de recherche appliquée en mécanique des roches, sur lesquels lui ou ses consultants pourront s'appuyer dans les tâches de planification et de décision au niveau des opérations minières;

2) développer ou mettre à jour des méthodes d'investigation et d'analyse du comportement des massifs rocheux pour le bénéfice de l'industrie minière;

3) développer et mettre au point les instruments appropriés pour la détermination des propriétés des matériaux rocheux et le suivi des structures minières; et

4) transférer à l'industrie les méthodes courantes et les derniers développements en mécanique des roches, applicables à l'exploitation minière.

En tenant compte de ce contexte, le rôle du CANMET en est donc un de recherche et d'échange, en collaboration avec les exploitants et l'industrie, et non de consultation au sens propre du terme.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	i
ABSTRACT	ii
AVANT-PROPOS	iii
SOMMAIRE	1
REMERCIEMENTS	7
FIGURES	8
BIBLIOGRAPHIE	14

LISTE DES FIGURES

1.	Localisation de la mine Niobec	8
2.	Illustration d'un faciès de carbonatite	8
3.	Illustration de la fracturation	9
4.	Exemple de reconstitution d'un forage	9
5.	Représentation des conditions d'eau au niveau 450	10
6.	Représentation de la charte de Barton	10
7a.	Échantillons rupturés en compression uniaxiale	11
7b.	Illustration d'un échantillon cisaillé	11
8a.	Représentation schématique des excavations de la zone 1	12
8b.	Exemple de résultat de l'analyse	12
9a.	Anneau de mesure pour le suivi des contraintes	13
9b.	Résultats de lecture des anneaux de contraintes	13

SOMMAIRE

1. La mine Niobec procède depuis 1975, à Saint-Honoré, Comté de Dubuc (Québec), à l'exploitation d'un gisement de columbium. La méthode de minage utilisée est une méthode par chantiers ouverts par longs trous, avec piliers transversaux et horizontaux. Le gisement est composé de deux (2) zones minéralisées, de teneur variable mais économique. Deux (2) blocs miniers font présentement l'objet de l'exploitation, soient les blocs 1 et 2, situés entre les élévations 300 et 600 pieds, et 700 et 1000 pieds respectivement. Les deux blocs sont séparés par un pilier horizontal d'une épaisseur de 30 m, le tout prenant place sous une couche de calcaire d'une épaisseur moyenne de 70 m, laquelle tient également lieu de pilier de surface.

2. Ces considérations mettent en lumière les divers aspects relatifs à la stabilité des excavations à la mine Niobec, qui sont:

1) la stabilité des chantiers et des piliers transversaux;
2) la stabilité de la couronne de surface;
3) la stabilité du pilier horizontal;
4) le retrait éventuel des piliers transversaux;
5) le retrait éventuel du pilier horizontal; et
6) l'exploitation éventuelle d'un troisième bloc miner.

Ces aspects méritaient d'être approfondis. C'est pourquoi la mine a amorcé à l'automne 1985, en collaboration avec le centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) et le Centre de recherches minérales (CRM), une étude dans le but d'obtenir une analyse complète et rigoureuse des aspects énoncés ci-avant. Le présent document constitue le sommaire de cette étude.

3. Les différentes étapes suivies lors de l'exécution de l'étude sont:

1) l'investigation du massif rocheux et la détermination en chantier des propriétés propres au gisement;
2) la détermination en laboratoire des propriétés mécaniques et physiques du matériau, et leur extrapolation à l'échelle du massif rocheux;
3) la modélisation des excavations, en faisant appel principalement à la méthode des éléments finis en trois dimensions. Cette étape intégrait les propriétés déterminées précédemment; et
4) le suivi des excavations et l'évaluation des résultats de la modélisation.

Les résultats de chacune de ces étapes ont fait l'objet d'analyse et discussion spécifiques. Nous en présentons ici les grandes lignes et les conclusions générales.

4. Le complexe alcalin de Saint-Honoré se présente sous la forme d'un pluton dont les structures sont disposées de façon concentrique sous le calcaire de surface. L'unité qui retient notre attention dans le cadre de la présente étude est la carbonatite du premier anneau. Elle est l'hôte de la minéralisation.

5. La carbonatite est classée en différents faciès ou sous-unités, selon la proportion de calcite contenue, le type et la quantité d'accessoires présents, et son degré d'hématisation. Toutes ces sous-unités ont fait l'objet d'essais en laboratoire pour en déterminer la résistance mécanique et les modules de déformation élastique. Divers degrés de métamorphisme, allant de la simple altération à la dégradation en profondeur des minéraux, peuvent être observés sur le matériau intact, et de façon plus prononcée, à l'intérieur des fractures. Ainsi, ces dernières ont fait l'objet d'essais spécifiques pour en évaluer la résistance au cisaillement. Les résultats de tous les essais ont été interprétés et discutés. Ils ont fait l'objet de rapports spécifiques.

6. La fracturation avait déjà fait l'objet d'une investigation approfondie. Dans le contexte de la présente étude, ces données ont été revisées et quelques vérifications ponctuelles ont été effectuées. Quelques forages ont été implantés à des fins spécifiques de caractérisation, d'échantillonnage et d'essai. Ils ont fait l'objet d'une description géomécanique poussée. Toutes ces données ont été cumulées et analysées. Les résultats ont été présentés dans un rapport spécifique.

7. Les contraintes naturelles ont été déterminées à l'été 1986 sur les niveaux 850 et 1000. Les résultats différent quelque peu de ceux observés ailleurs dans le Bouclier canadien. Plus spécifiquement, évaluées au niveau 1000, les contraintes obéiraient aux relations suivantes:

(1) pour la contrainte verticale, σ_v (MPa): 0.0268 z, où z est la profondeur en mètres;
(2) la contrainte horizontale majeure, σ_{hmax} (MPa): 17.55 + 0.0115 z, orientée à 270° N, dans l'axe Est-Ouest, et
(3) la contrainte horizontale mineure, σ_{hmin} (MPa): 4.11 + 0.0115 z, orientée à 0°N, dans l'axe Nord-Sud.

Suivant ces mêmes relations, le rapport de la contrainte horizontale à la contrainte verticale, toujours évalué au niveau 1000, s'établirait en moyenne à 1.75, avec un minimum de 0.93 suivant l'axe Nord-Sud, et un maximum de 2.57 dans la direction de l'axe Est-Ouest.

8. Au total, 356 essais ont été réalisés en laboratoire. Ceux-ci ont été effectués sur tous les matériaux qu'il nous a été permis d'échantillonner, en surface pour le calcaire, et sous-terre pour la carbonatite et la syénite. Dans l'ensemble, les matériaux étudiés présentent une bonne résistance mécanique, avec une résistance en compression uniaxiale allant de 78.6 à 110.3 MPa pour le calcaire, de 46.4 à 163.4 MPa pour la carbonatite, et de 60.8 à 110.3 MPa pour la syénite.

Quelques plans structuraux ont également été testés. Une faible cohésion, variant de 0.13 à 0.22 MPa, a été observée, et l'angle de frottement mesuré variait de 29 à 41 degrés. Un dernier résultat concerne la valeur des modules de déformation élastique du matériau. Ainsi, les modules de Young déterminés variaient entre 36.6 et 79.8 GPa, selon le type et le degré d'altération du matériau. Quant aux coefficients de Poisson, ils variaient entre 0.22 et 0.35. Ces résultats sont valables pour la carbonatite ou la syénite. Quant au calcaire de surface, son mode de formation rend plus aléatoire la valeur des modules déterminés. Ainsi, le module de Young se situait généralement entre 35 et 65 GPa, et le coefficient de Poisson, entre 0.16 et 0.32. Toutes ces valeurs ont été extrapolées à l'échelle du massif rocheux àl'aide des formules usuelles connues.

9. Un premier essai de modélisation des excavations de la zone 1 avait été effectué à l'été 1986. Cet essai préliminaire était basé sur quelques hypothèses relatives à la grandeur des contraintes naturelles et aux propriétés des matériaux, ces données n'étant pas disponibles au début des simulations. À la lumière des résultats ultérieurs, ces hypothèses se seront avérées généralement justes bien que conservatrices, notamment en ce qui concerne la grandeur du tenseur de contrainte postulé (champ gravitaire). Le résultat indique que de légères zones de tension seraient susceptibles de se développer à la paroi des excavations. Ces zones sont relativement peu profondes et pourraient être contrôlées efficacement par une bonne procédure de sautage et l'utilisation d'un soutènement approprié. Le facteur de sécurité calculé localement est généralement supérieur à 2.0. Le secteur peut donc être considéré stable.

10. Un deuxième essai de modélisation reprenait la même géométrie que précédemment, mais avec de nouvelles conditions de chargement, celles déterminées à l'été 1986. Les conditions de stabilité calculées sont lègèrement supérieures à celles obtenues lors du premier essai. La contrainte mineure est généralemnt en compression; la tension induite dépasse rarement -0.5 MPa. Les seuls problèmes éventuels seraient donc d'ordre structural.

11. Un troisième essai de modélisation dans le secteur comportait l'extension du minage des chantiers de la zone 1 à un deuxième bloc minier, compris entre les élévations 700 et 1000, et le retrait partiel du pilier horizontal. Le résultat de la simulation montre peu d'influence sur la stabilité des chantiers et des piliers du bloc supérieur. Cependant, une zone de tension, bien que réduite, pourrait affecter la stabilité locale du pilier T-102-17 situé dans le second bloc minier. On portera alors attention au découpage et au retrait éventuel de ce pilier. Dans un premier stade d'exploitation, la stabilité du pilier horizontal ne devrait poser aucun problème, le facteur de sécurité prédit étant généralement supérieur à 2.5. Concernant son retrait éventuel, même partiel, les zones de tension alors induites le long de parois verticales pouvant atteindre jusqu'à 235 m de hauteur deviendraient plus étendues, entrainant alors la dégradation éventuelle des piliers. Le retrait de ce pilier ne devrait donc être envisagé qu'en dernière étape, la séquence de minage devant faire l'objet d'une étude plus approfondie.

12. Un dernier essai de modélisation dans le secteur avait pour but l'examen du comportement de l'excavation finale et la stabilité du pilier horizontal, advenant le retrait de tous les piliers transversaux. Ainsi, l'exploitation des chantiers du deuxième bloc minier et le retrait de tous les piliers transversaux ne produiraient pas de changements majeurs dans la stabilité de la structure. Toutes les excavations semblent stables naturellement. De légères zones de tension, d'une intensité dépassant rarement -1.0 MPa, pourraient se développer à la paroi de l'excavation finale, à la hauteur du bloc inférieur notamment, et entrainer sa dégradation sur quelques mètres de profondeur. Le pilier horizontal demeure stable; son facteur de sécurité moyen calculé est supérieur à 1.5. Ceci confirme donc la séquence de minage avancée plus haut, où les piliers transversaux devraient être récupérés avant le pilier horizontal.

13. La stabilité de la couronne de surface, au dessus des chantiers de la zone 1, a également été analysée. Différents mécanismes de rupture potentiels ont été examinés. Le résultat de l'analyse montre que dans

les conditions actuelles d'exploitation, la couronne de surface et les excavations sous-jacentes sont stables. Ce résultat concorde avec les observations recueillies en chantier. Cependant, le retrait des piliers primaires transversaux pourrait occasionner quelques ruptures locales dans le calcaire et la carbonatite. La mise en place d'un soutènement artificiel permanent pourrait alors s'avérer nécessaire.

14. Un dernier volet de l'étude consistait au suivi des contraintes et des déplacements, à l'intérieur de la structure et à la paroi des excavations. Un programme de suivi a été mis en place dans la zone 203, à la hauteur du deuxième bloc minier. Des bornes de convergence ont été scellées à la paroi des galeries, et des anneaux de contrainte, installés à l'intérieur des piliers. Les lectures ont été prises régulièrement, parallèlement à l'activité de minage dans le secteur. Les mesures montrent une relaxation d'environ de 10.8 MPa dans le plan horizontal et de 8.7 MPa dans le plan vertical. Ces valeurs sont compatibles avec la grandeur des contraintes mesurées dans le secteur avant la mise en place de l'instrumentation. Ces résultats font présentement l'objet d'une rétro-analyse.

15. Des suggestions particulières ont accompagné l'avancement de l'étude. Elles concernaient notamment la reconnaissance des nouveaux secteurs d'exploitation, le respect d'une bonne procédure de contrôle des terrains (sautage, écaillage, soutènement), pour limiter l'endommagement des structures et leur dégradation éventuelle, et l'établissement de mesures de suivi dans quelques secteurs typiques. Ces suggestions devraient être considérées à leur juste valeur. On consultera les rapports spécifiques pour évaluer la justesse de ces suggestions, et éventuellement favoriser leur application.

16. Deux (2) autres volets s'ajoutent et viennent compléter le rapport final, soit la rédaction d'un document-synthèse de l'étude, et un supplément pour la conception des excavations. Les responsables de l'exploitation trouveront là un complément d'information essentiel pour l'application des résultats de l'étude, et la poursuite de celle-çi.

REMERCIEMENTS

Nous désirons exprimer nos remerciements sincères à nos directeurs et responsables de département respectifs, pour l'appui, la collaboration et l'encouragement manifestés tout au long de l'étude. De nombreuses personnes ont travaillé de près ou de loin à la réalisation du projet et à l'édition des rapports. À ceux-ci, nous témoignons notre reconnaissance.

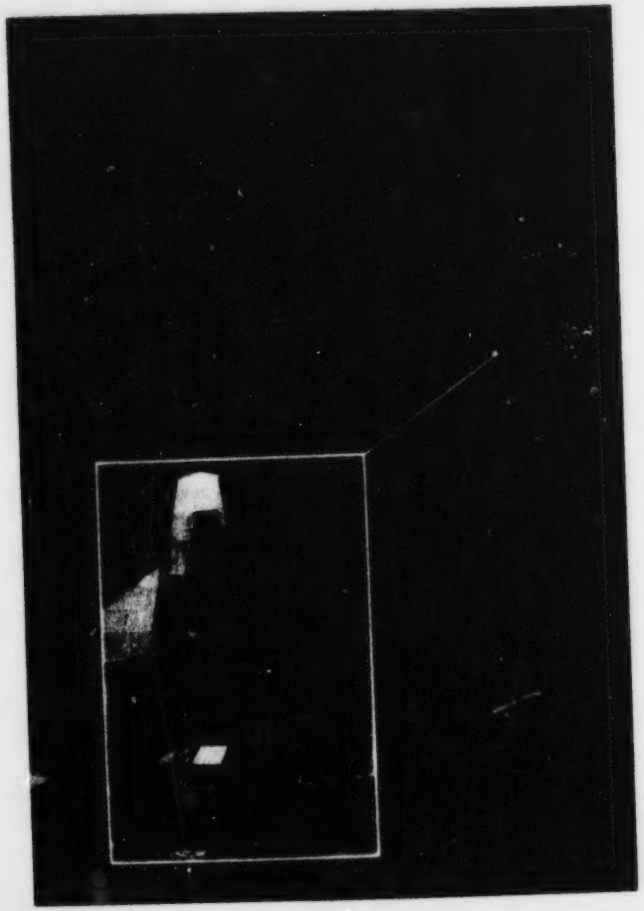

Figure 1. Localisation de la mine Niobec.

Figure 2. Illustration d'un faciès de carbonatite.

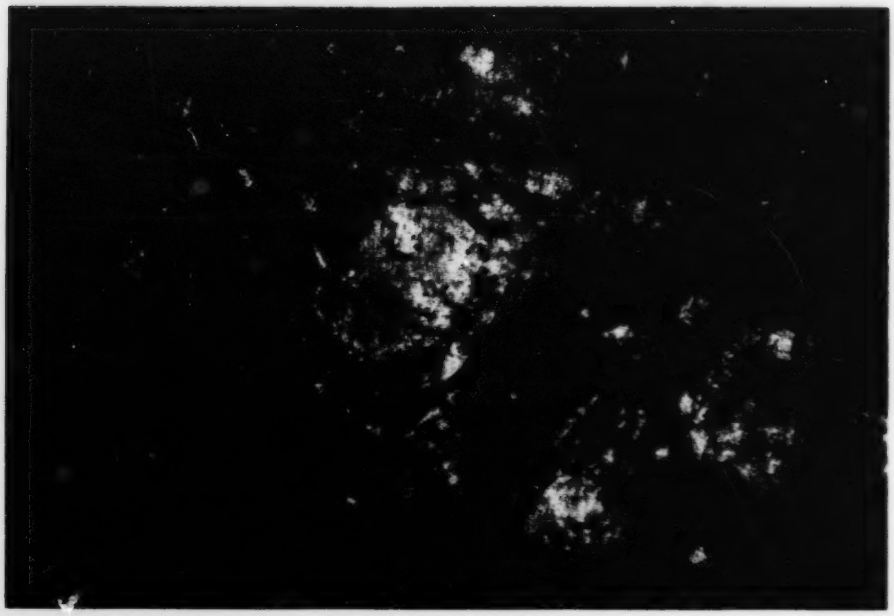

Figure 3. Illustration de la fracturation.

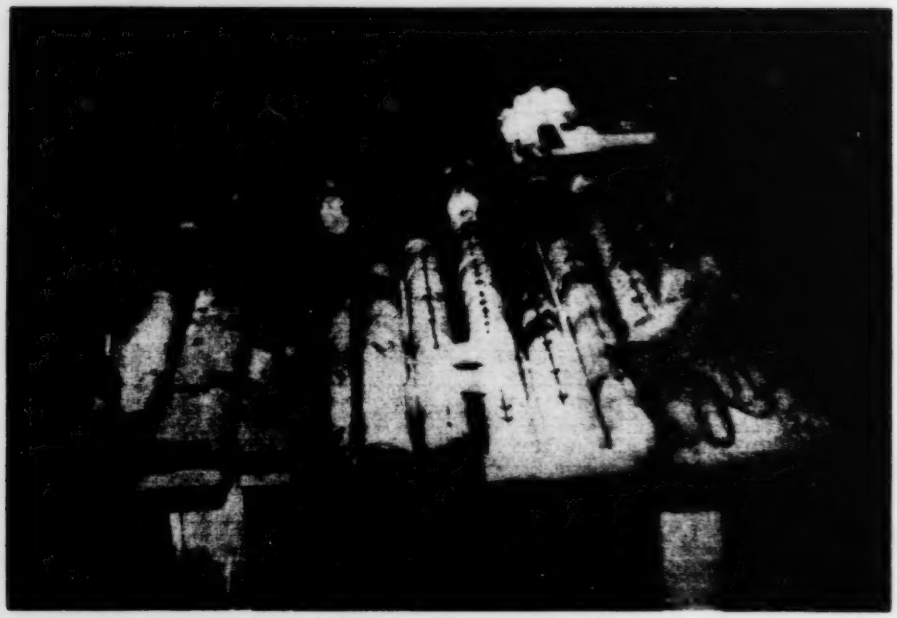

Figure 4. Exemple de reconstitution d'un forage.

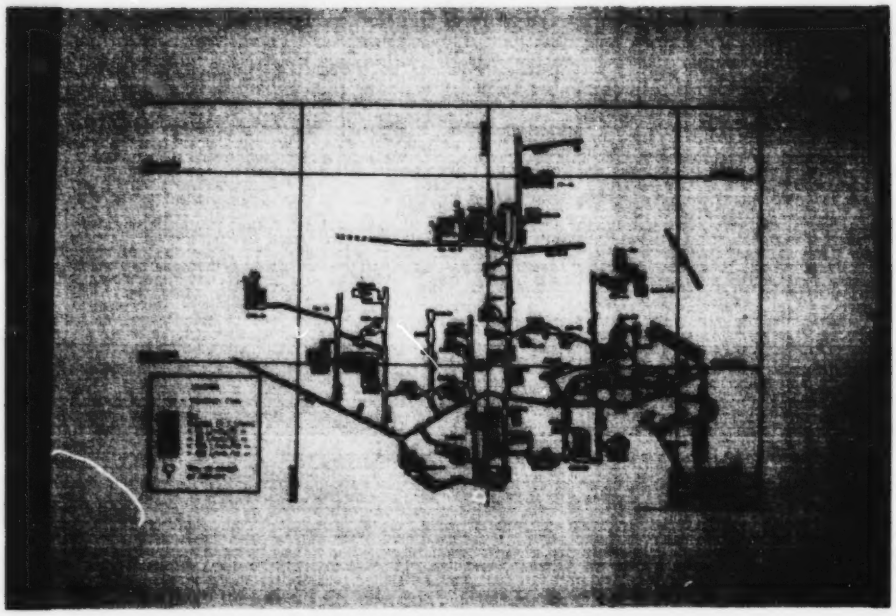

Figure 5. Représentation des conditions d'eau au niveau 450.

Figure 6. Représentation de la charte de Barton.

Figure 7a. Echantillons rupturés en compression uniaxiale.

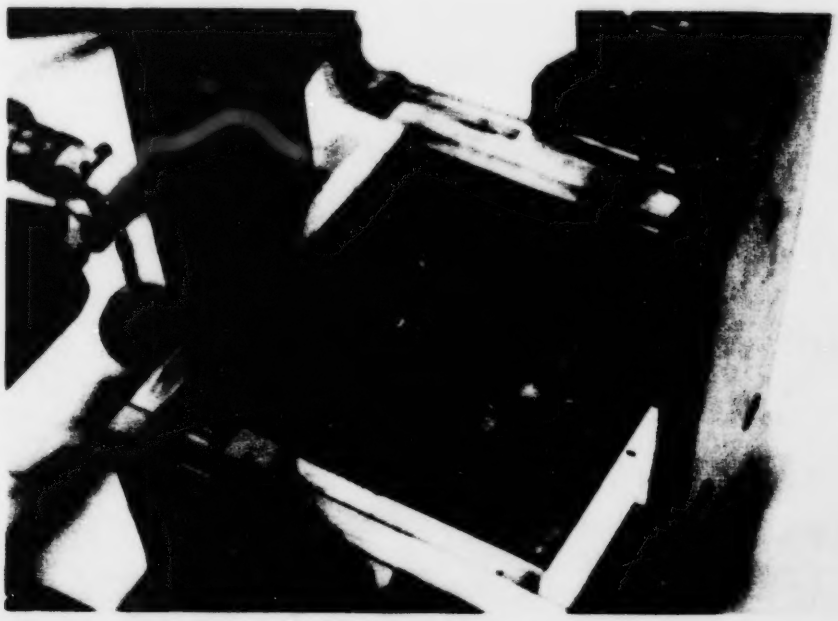

Figure 7b. Illustration d'un échantillon cisaillé.

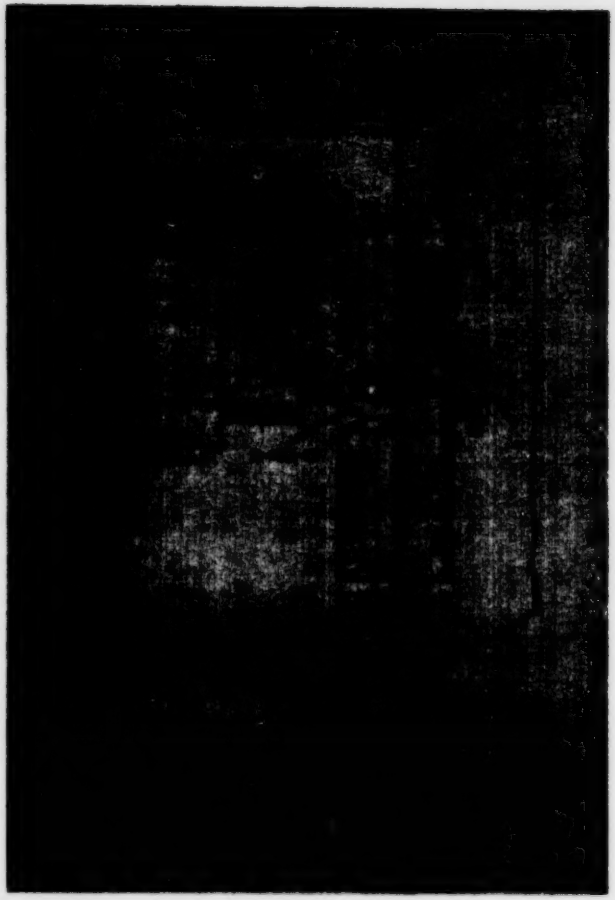

Figure 8a. Représentation schématique des excavations de la zone 1 .

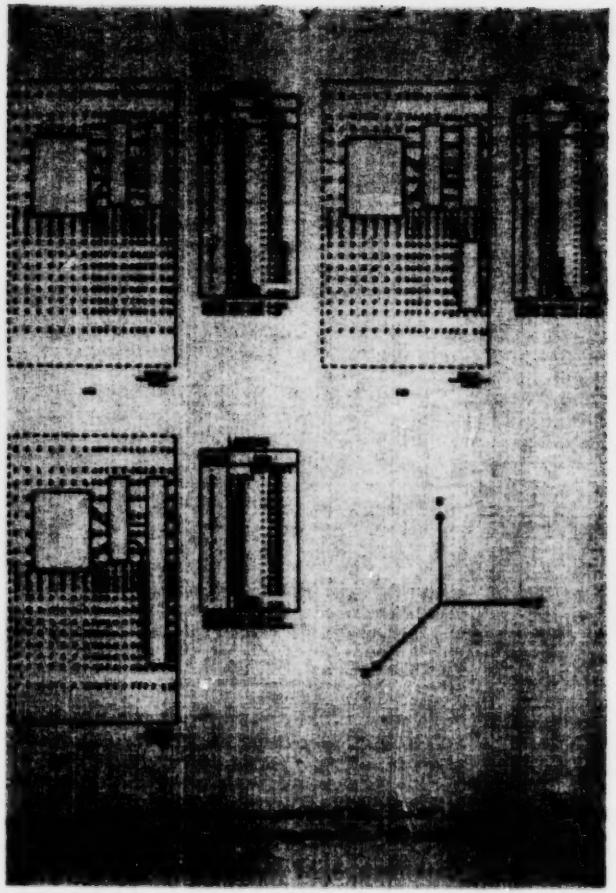

Figure 8b. Exemple de résultat de l'analyse.

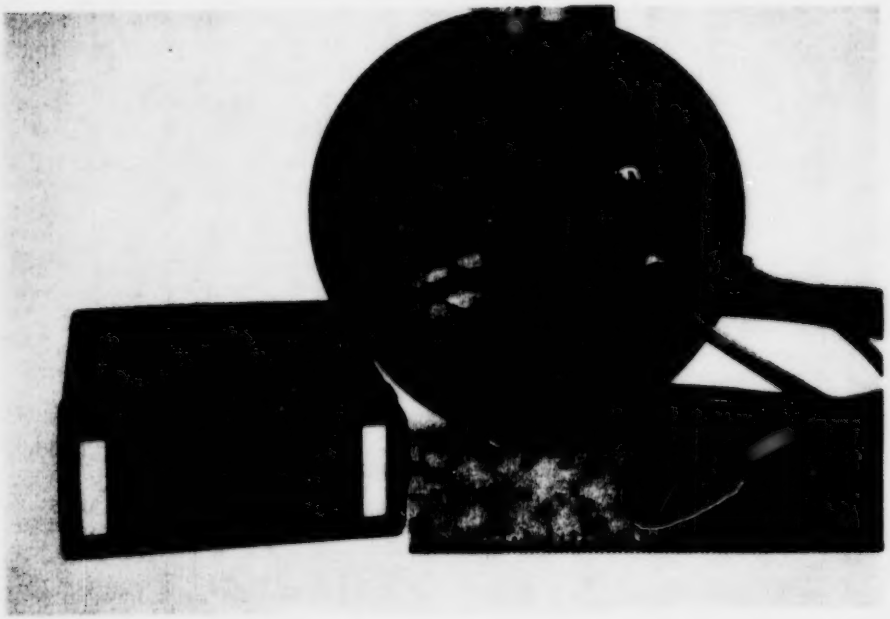

Figure 9a. Anneau de mesure pour le suivi des contraintes.

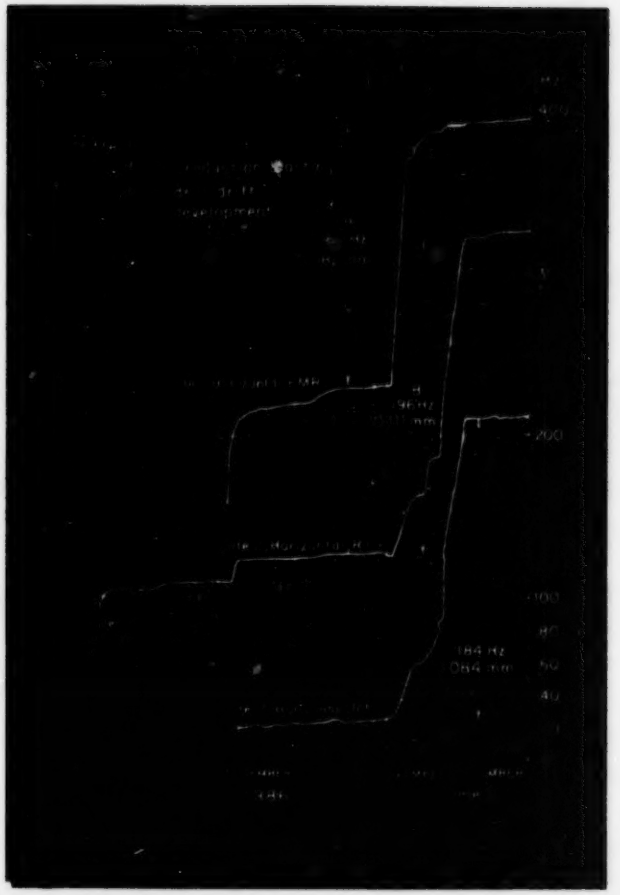

Figure 9b. Résultats de lecture des anneaux de contraintes.

BIBLIOGRAPHIE

1. Gagnon, G., Gendron, L.A., 1977. "The geology and current development of the Saint-Honoré niobium (columbium) deposits"; 79th CIM Annual General Meeting, Ottawa, 34 p.

2. Thivierge, S., Roy, D.W., Chown, E.H., Gauthier, A., 1983. "Évolution du complexe alcalin de St-Honoré (Québec) après sa mise en place"; Mineral. Deposita, Vol. 18, pp. 267-283.

3. Bétournay, M.C., Labrie, D., 1989. "Étude de stabilité à la mine Niobec: Rapport final, 2. Synthèse de l'étude"; Rapport de division MRL 88-81(TR), Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, à paraître.

4. Labrie, D., Closset, L., 1989. "Étude de stabilité à la mine Niobec: Rapport final, 3. Supplément pour la conception des excavations"; Rapport de division MRL 89 - 10 (TR), Laboratories de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, à paraître.

5. Labrie, D., 1986. "Étude de stabilité à la mine Niobec: Rapport d'étape"; Projet STM-526, Service de la technologie minière, Centre de recherches minérales, Ministère de l'Énergie et des Ressources (Mines), Sainte-Foy (Québec), 46 p. + annexes.

6. Arjang, B., 1986. "Field stress determinations at the Niobec mine, Chicoutimi, Québec"; Division Report MRL 87-15(TR), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 16 p. + appendix.

7. Labrie, D., 1989. "Étude de stabilité à la mine Niobec: Investigations géomécaniques et relevés structuraux"; Rapport de division MRL 89-11(TR), Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, à paraître.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

8. Labrie, D., 1987. "Étude de stabilité à la mine Niobec: Supplément no. 4, essais de laboratoire"; Projet STM-526, Service de la technologie minière, Centre de recherches minérales, Ministère de l'Énergie et des Ressources (Mines), Sainte-Foy (Québec), 54 p. + annexes.

9. Bétournay, M.C., Gorski, B., Situm, M., 1986. "Tétrauville limestone of the Niobec surface crown pillars: Comparison of strength and deformation properties from various tests"; Divison Report M&ET/MRL 86-144(TR), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 14 p.

10. Gorski, B., 1986. "Uniaxial strength determinations of Niobec mine rocks"; Division Report M&ET/MRL 86-116(INT), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 5 p. + appendix.

11. Yu, Y.S., Vongpaisal, S., Toews, N.A., Wong, A.S., 1986. "A preliminary stability assessment of C-102-23 stope of the Niobec mine under gravitational loading"; Division Report M&ET/MRL 86-97(TR), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 33 p. + appendix.

12. Yu, Y.S., Vongpaisal, S., Wong, A.S., Toews, N.A., 1986. "Stability assessment of C-102-23 stope of the Niobec mine under tectonic stresses - part II"; Division Report M&ET/MRL 86-145(TR), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 20 p.

13. Yu, Y.S., Wong, A.S., Vongpaisal, S., Toews, N.A., 1987. "Stability assessment of S-L-102-17 sill pillar of the Niobec mine, Chicoutimi, Québec - part III"; Division Report MRL 87-96(TR), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa,38 p. + appendix.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

14. Yu, Y.S., Wong, A.S., Toews, N.A., 1988. "Stability assessment of S-L-102-19/S-102-21 sill pillars and adjacent stopes of the Niobec mine, Chicoutimi, Québec - part IV"; Division Report MRL 88-101(TR), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 31 p.

15. Bétournay, M.C., Thivierge, S., 1986. "The Niobec mine: A case study of surface crown pillars"; Division Report M&ET/MRL 86-95(OP,J), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 27 p.

16. Bétournay, M.C., Yu, Y.S., Thivierge, S., 1986. "A case study of surface crown pillars: The Niobec mine"; Division Report MRL 87-104(OP,J), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 14 p.

17. Labrie, D., Grenier, R.A., 1988. "Suivi des excavations de la zone 203 à la mine Niobec, résultats de mesure"; Rapport de division MRL 88-11(TR), Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, 14 p. + annexes.

18. Herget, G., Kapeller, F., 1987. "Monitoring of borehole deformation at Niobec mine, a progress report"; Division Report MRL 87-6(TR), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 19 p.

19. Herget, G., Kapeller, F., 1988. "Monitoring equipment for mining induced stresses at Niobec mine"; Division Report MRL 88-29(J), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 10 p.

20. Labrie, D., Closset, L., 1989. "Rétroanalyse des excavations de la zone 203 à la mine Niobec"; Rapport de division MRL 89-12(TR), Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa, à paraître.

BIBLIOGRAPHIE (suite)

21. Yu, Y.S., Bétournay, M.C., Larocque, G.E., Thivierge, S., 1988. "Pillar and stope stability assessment of the Niobec mine using three-dimensional finite element techniques"; Division Report MRL 88-68(OP,J), Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, 10 p.